

La intencionalidad y la epistemología naturalizada

Antonio Diéguez

dieguez@uma.es

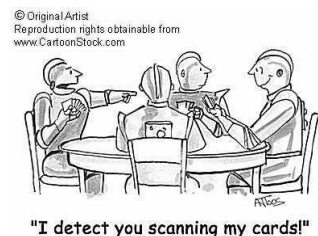
- Preguntarse por el origen de la intencionalidad (en el sentido de Brentano, esto es, por la capacidad de ciertos estados mentales para hacer referencia a algo, para versar sobre un objeto o estado de cosas, o para tener un contenido (aboutness)) es preguntarse por el origen de las representaciones mentales.
- Naturalizar la intencionalidad es mostrar la función biológica de las representaciones mentales.
- ¿Cuándo surge la capacidad de tener representaciones mentales?
- “How is it possible for something such as contentful states of mind to exist in a natural world? How can thoughts be objective, i.e. how can they refer to things beyond themselves? How did the capacity to think objectively emerge in natural history?”
Glenda Satne “A Two-Step Theory of the Evolution of Human Thinking” *Journal of Social Ontology* 2016; 2(1): 105

¿Qué son las representaciones mentales?

- No sólo **no hay una definición unánimemente aceptada de qué sea una representación mental**, sino que los conceptos de representación asumidos por diversos autores pueden variar muy ampliamente.
- Tampoco hay acuerdo acerca de si se puede proporcionar una **explicación naturalista de las representaciones**, o lo que es igual, de si se puede verter en términos no semánticos la relación en la que consiste que algo represente a algo. Toda una corriente filosófica, la **teleosemántica**, intenta hacerlo buscando la función propia de las representaciones o de los estados internos, es decir, la función por la cual los mecanismos representacionales han sido seleccionados por la selección natural, pero no ha despertado por el momento mucho entusiasmo entre los filósofos.

¿Qué son las representaciones mentales?

- Entenderé que **las representaciones mentales en seres vivos son un tipo especial de representaciones internas (de estados internos que “están por” estados externos) en las que la base de los estados internos representacionales es neuronal, o si se quiere, son patrones de activación neuronal.**
- Esto no prejuzga, sino que deja abierta, la cuestión de si son posibles o no **representaciones mentales en máquinas**, en cuyo caso la base de los estados internos no serían ya patrones de activación neuronal, sino otro tipo de patrones de activación, dependiendo de la estructura material de la máquina.
- Tampoco obliga a pensar que las representaciones mentales no sean más que patrones de activación neuronal. La cuestión de su contenido semántico es necesaria para su caracterización.



¿Qué son las representaciones mentales?

- Los patrones de activación neuronal son, en principio, susceptibles de ser **almacenados** e incluso de ser **reproducidos en ausencia del estímulo que los provocó**, de modo que la información que portan puede ser recordada y usada en diferentes contextos.
- Esto último deja ver que **no todo organismo que posea neuronas tiene, por ese mero hecho, representaciones mentales, y que no toda activación neuronal está ligada a representaciones mentales**. Difícilmente podrían atribuirse representaciones mentales a las **medusas (cnidarios)**, pese a que poseen un **plexo nervioso difuso** formado por protoneuronas; o a una **lombriz intestinal (nematodos)** o a una **estrella de mar (cnidarios)**, a pesar de que poseen un **sistema nervioso muy básico**.
- En tales casos, el sistema nervioso **se limita a coordinar una serie de movimientos simples, sin necesidad de que medie en esa conducta una representación estable del entorno** y versátil en su aplicación en otras circunstancias diferentes. Por la misma razón, los **actos reflejos** en organismos más complejos no requieren de representaciones mentales.

¿Qué son las representaciones mentales?

- Joëlle Proust ha sostenido que para que haya representaciones mentales debe haber **capacidad de objetividad**, lo cual conlleva **la capacidad para corregir los inputs perceptivos erróneos**.
- Proust concreta esta propuesta diciendo que para tener representaciones mentales **deben poseerse mecanismos de calibración-recalibración que permitan corregir los inputs que han sido recibidos de forma equivocada o distorsionada**.



¿Qué son las representaciones mentales?

- Más específicamente, no basta con que el organismo sea capaz de corregir su conducta en función de nueva y mejor información. **Ha de ser capaz además de detectar los errores de sus *inputs* sensoriales y de volver a hacerlos coherentes usando toda la información de forma sistemática y corrigiendo o recalibrando la recepción de la parte de esa información que lo necesite.**
- Cuando un organismo puede hacer esto, cabe decir, según Proust, que es capaz de “alcanzar el mundo de ahí fuera”, es decir, puede responder a las condiciones que presenta el mundo mismo, y no sólo a la información “proximal” de sus receptores.



¿Qué son las representaciones mentales?

- Proust cree que sólo **aves**, **reptiles y mamíferos** dispondrían de tales capacidades.
- Otros (cf. Auger y Curtis 2008), se atreven a incluir a los **peces** y a extender con ello la atribución de representaciones mentales a todos los vertebrados.
- Mi opinión es que podríamos ser más arriesgados aún. Como argumentaré a continuación, hay buenas razones para atribuir representaciones mentales a los **insectos**, aunque la cuestión es controvertida. Las abejas, por ejemplo, parecen tener esa capacidad de calibración-recalibración que propone Proust como criterio de atribución. Algunos experimentos sugieren incluso que son capaces de evaluar imaginativamente la plausibilidad de encontrar alimento en una determinada localización.



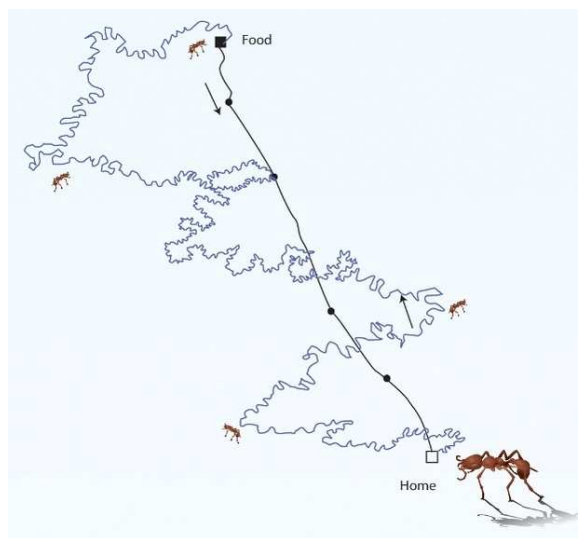
¿inteligencia sin representación?

- Rodney Brooks, en su crítica al representacionalismo en [Inteligencia Artificial](#), argumenta que los insectos son capaces de interactuar con el entorno sin necesidad de construir un modelo interior del mismo, es decir, sin necesidad de representarse mentalmente ese entorno. Sus respuestas al mismo tendrían una conexión más directa con los sistemas sensoriales.

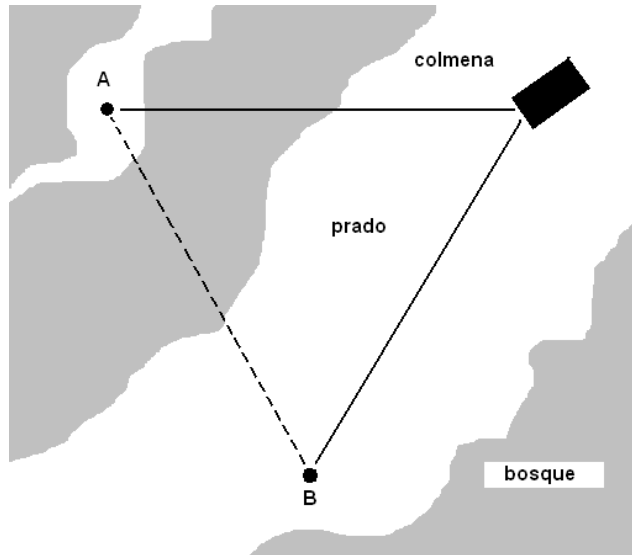


- Sin embargo, otros autores ven muestras en la conducta de los insectos de que éstos tienen representaciones:
 - C. R. Gallistel → hormiga del desierto tunecino.
 - J. L. Gould → las abejas poseen mapas cognitivos de su entorno.

Hormiga del desierto



Experimento de J. L. Gould



- No obstante, incluso si se admitiera que Brooks pueda tener razón en el nivel de los artrópodos y en niveles inferiores, su posición resulta mucho **menos convincente en el caso de las aves y de los mamíferos**.
- Experimentos con **pollitos** de Lucia Regolin y Giorgio Vallortigara en la Universidad de Udine (en el noreste de Italia).

Uno de dichos experimentos sugiere que los pollitos son capaces de formarse una representación mental del objeto, la cual dura un tiempo después de su desaparición. Es lo que se denomina 'constancia del objeto'. En otro experimento consiguieron mostrar que los pollitos reconocían objetos que estuvieran parcialmente ocultos, algo que no consiguen los bebés recién nacidos. Según los experimentadores, este resultado implica que **poseen una representación mental de las partes ocultas de los objetos**.

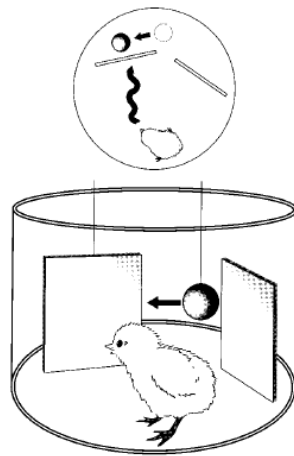


Fig. 3.2 A young chick has been raised with a red ball hanging in its cage and becomes imprinted on it. Here the chick is tested to see whether it can remember which opaque screen hides the ball. The chick is allowed to watch as the ball is moved behind one of the screens and a little later it is released into the arena. The chick approaches the screen hiding the ball and goes around it to find the ball. (Drawing not to scale.) Source: Experiment by Regolin and Vallortigara, 1995.

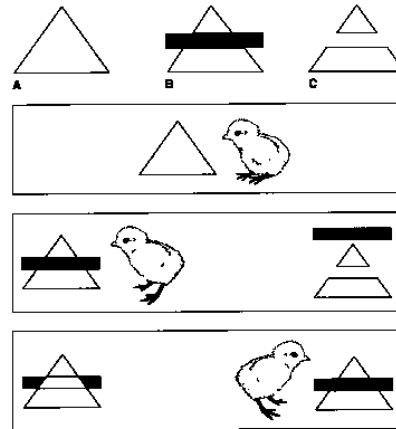
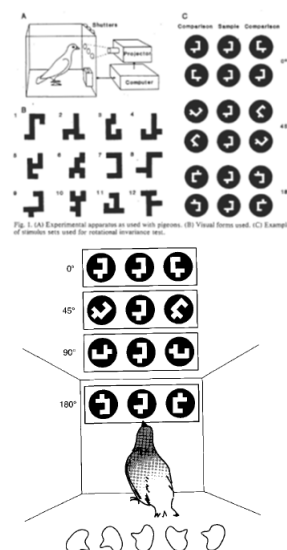


Fig. 3.3 A chick is raised in the presence of a triangular shape (A) on which it imprints. When tested with a choice between the triangle partly hidden by a black bar (B) and a triangle with the region covered by the bar missing (C) and also with the bar over the top or on each side of the triangle, the chick approaches the partly hidden triangle (B). This result shows that the chick is able to recognise an object when it sees only part of it. Source: Adapted from Regolin and Vallortigara, 1995.

Más evidencias experimentales sobre representaciones mentales en aves (I)

- Juan D. Delius, un especialista en el estudio del comportamiento de las aves, de la Universidad de Constanza, en el sur de Alemania, ha realizado desde mediados de los 80 una serie de experimentos que muestran que las **palomas** pueden llegar a manejar conceptos abstractos, como 'esfericidad' e 'identidad'; pueden efectuar inferencias sobre transitividad; y pueden resolver problemas basándose en reglas abstractas.



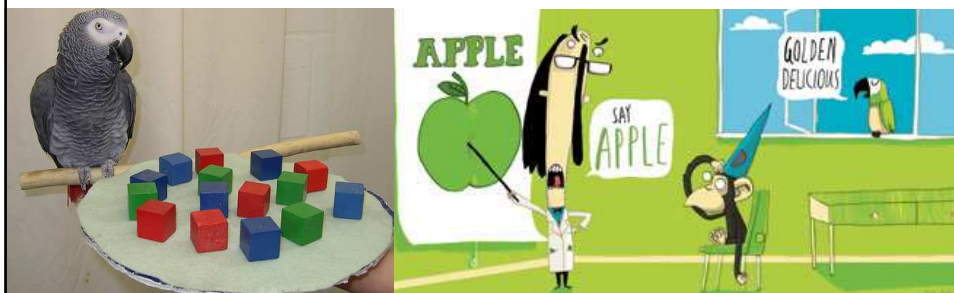
Más evidencias experimentales sobre representaciones mentales en aves (II)

- El caso, aunque cuestionado por algunos, de **Alex, un loro gris africano**, entrenado por Irene M. Pepperberg. Alex podía **identificar el color, la forma y el material de medio centenar de objetos** y **saber cuándo dos de ellos comparten algunas de estas características**, lo que implica que maneja los **conceptos abstractos de 'igual' y 'diferente'**. También es capaz de saber el número de objetos que tiene delante, hasta un número de seis.
- Un dato que indica que Alex sabía que los términos que emplea se refieren a unos objetos y no a otros, y que no se limitaba a repetir lo que oye, es que cuando el adiestrador le ofrece un objeto distinto del que Alex pide, éste le responde con un 'no' y repite su petición.



Más evidencias experimentales sobre representaciones mentales en aves (II)

- Alex podía combinar palabras y **formar frases en inglés como 'querer maíz' o 'querer uva' ('want corn', 'want grape')**. Utilizaba cuatro verbos, 'querer', 'ir', 'venir' y 'hacer cosquillas' ('tickle'), y podía unirlos para formar frases como 'quiero ir silla' ('wanna go chair'). **Siempre utilizaba 'querer' con el nombre de un objeto y 'querer ir' con el nombre de un lugar**. Su "comprensión" del lenguaje llegaba hasta el punto de poder responder correctamente a preguntas como '¿Qué forma tiene el papel verde?' o '¿Qué objeto tiene cinco esquinas púrpuras?'



Desgraciadamente...



- **REUTERS (12-9-2007)**

BOSTON.- El pasado 6 de septiembre, a los 31 años de edad, murió Alex, un conocido loro que durante décadas ayudó a científicos de Estados Unidos en sus investigaciones sobre la comunicación de las aves. Sus logros fueron de tal envergadura que llevaron a los investigadores a suponer que las aves, en algunos terrenos, podrían tener una **inteligencia comparable a la de un niño de cinco años**.

A lo largo de 30 años de estudios en las universidades de Harvard y Brandeis y otras instituciones académicas, la científica Irene Pepperberg demostró que el loro podía identificar los nombres de 50 objetos, siete colores y cantidades menores a seis. En sus investigaciones la bióloga concluyó que los loros podían aprender el uso del lenguaje para comunicarse, y no sólo repetir sonidos.

Más evidencias experimentales sobre representaciones mentales en aves (III)

- Son numerosos los ejemplos de las capacidades memorísticas de las aves, que en algunos casos les permiten recordar durante el invierno donde escondieron cientos y hasta miles de semillas a lo largo de las otras estaciones del año.
- Kamil y Jones (1997) han mostrado que cierto tipo de **cascanueces** (*Nucifraga columbiana*) pueden localizar comida en el punto medio de dos señales arbitrariamente colocadas, incluso aunque la distancia entre ellas sea grande.



Más evidencias experimentales sobre representaciones mentales en aves (IV)

- Algunas aves, como el **cuervo** y el **pinzón carpintero** tienen capacidad para **fabricar y utilizar instrumentos**, algo que durante mucho tiempo se había considerado privilegio exclusivo de los primates.

(cf. *Nature*, 433, 2005)

<http://es.youtube.com/watch?v=TtmLVP0HvDg>



Más evidencias experimentales sobre representaciones mentales en aves (IV)

- Por lo que se sabe hasta el momento, una habilidad así, la de modificar espontáneamente una herramienta con un propósito determinado, está fuera del alcance de la mayoría de los primates.
- Se ha podido observar que los cuervos utilizan, y en ocasiones fabrican, herramientas, como ganchos hechos con ramas. Estas herramientas se caracterizan por una cierta estandarización –aun cuando varían en función del lugar geográfico, posiblemente debido en parte a transmisión cultural–, una gran versatilidad y un diseño específico adecuado a la tarea a realizar.



Más evidencias experimentales sobre representaciones mentales en aves (IV)



- Recientemente se ha documentado que usan instrumentos para conseguir otros instrumentos. En un experimento realizado con siete cuervos, todos fueron capaces de usar una rama corta para obtener de una caja una rama más larga con la que alcanzar un trozo de alimento que era inalcanzable con la rama corta. Seis de los siete intentaron en el primer ensayo obtener la rama larga usando la corta y cuatro de ellos consiguieron la comida (cf. Taylor et. al. 2007).

Más evidencias experimentales sobre representaciones mentales en aves (IV)

- Los cuervos no sólo recuerdan con precisión y hasta durante seis meses dónde han escondido comida (pueden esconder del orden de unas 30.000 semillas), sino [en qué momento la escondieron y qué tipo de comida era](#). Posteriormente [recuperan estas provisiones empezando por las más perecederas](#) y dejando para el final las más duraderas.
- Pueden incluso recordar el [contexto en el que fueron escondidas](#) esas semillas o trozos de alimento, y en ocasiones vuelven a esconder en otros lugares aquéllas cuyo almacenaje se hizo en presencia de alguno de sus congéneres y que, por tanto, podrían serles arrebatadas.
- Los cuervos y los loros son las aves que presentan un [mayor tamaño relativo del cerebro anterior](#), y, en particular de las áreas que corresponderían en los primates a la corteza prefrontal, como el [nidopallium](#).

Más evidencias experimentales sobre representaciones mentales en aves (IV)

- Emery y Clayton concluyen que los córvidos y los primates presentan tantas similitudes cognitivas pese a sus diferencias cerebrales debido a que han tenido que enfrentarse a problemas adaptativos similares y, en particular, al problema de localizar alimentos perecederos en una amplia distribución espacial y temporal.
- A ambos grupos de organismos se les ha llegado a atribuir el mismo tipo de capacidades fundamentales. Se ha dicho de ellos que pueden realizar **razonamientos causales** –que precisamente les permitirían la fabricación y uso de herramientas. Despliegan asimismo una **conducta flexible** –que les capacitaría para modificar un curso de acción a la luz de nueva información. Poseen una **imaginación** muy desarrollada –que en el caso de los primates les permite simular mentalmente ciertas situaciones y que en los cuervos vendría manifestada por éxito para manejarse en situaciones que implican la “constancia del objeto”, así como por su capacidad para resolver problemas de cierta complejidad en el primer intento, o por su gran capacidad de navegación en nuevas rutas. Finalmente, poseen cierta habilidad **prospectiva** –que explicaría, por ejemplo, por qué los cuervos vuelven a esconder alimentos cuya ocultación fue observada por otros cuervos, o por humanos.

Más evidencias experimentales sobre representaciones mentales en aves (V)

- **Indicador de la miel africano o guiamieles**. Busca a tejones o a seres humanos para llamar su atención por medio de sonidos y de revoloteos hasta llevarlos a lugares donde se ocultan colmenas. Una vez que éstos se han llevado la miel, el indicador de mieles consume las larvas y la cera.



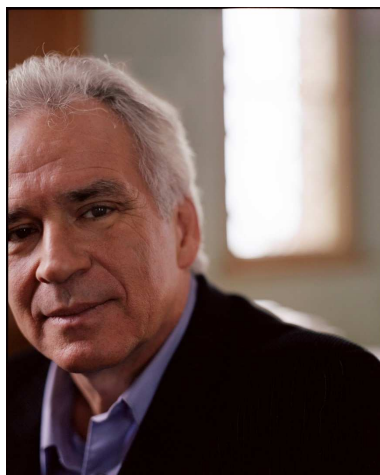
Más evidencias experimentales sobre representaciones mentales en aves (V)

- Además:

“Numerosos experimentos han demostrado que los indicadores de la miel conocen la localización de varias colmenas y generalmente guían a sus cómplices a la más cercana, normalmente por la ruta más directa que permita el terreno. Uno de los experimentos más interesantes consistió en que el “colaborador” humano siguió al ave, pero continuó caminando tranquilamente una vez pasado el árbol en el que se encontraba la colmena. El indicador de la miel intentó primero hacerle volver, pero luego cambió de táctica e intentó dirigirlo a otra colmena que se encontraba en la dirección aproximada del desplazamiento. La conclusión que parece ineludible es que los indicadores de la miel conocen la situación de muchas colmenas en una zona relativamente amplia”.

(J. L. Gould y C. G. Gould 1999).

Representaciones suscitadas y desvinculadas



- No todas las representaciones mentales de los seres vivos pueden ponerse al mismo nivel.
- Peter Gärdenfors (1996 y 2003) ha distinguido entre *representaciones suscitadas* (*cued*) y *representaciones desvinculadas* (*detached*).

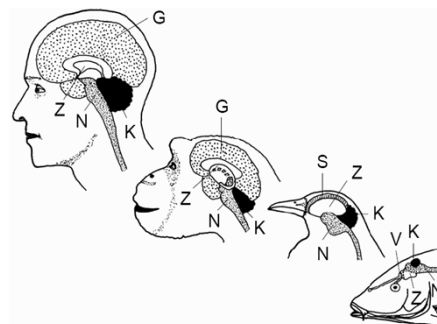
Representaciones suscitadas y desvinculadas

- Las **representaciones suscitadas** representan algo que está presente en la situación externa actual del organismo. El objeto representado puede estar ausente, pero debe haber algo en la situación que desencadene la representación de dicho objeto.
- Las **representaciones desvinculadas** representan objetos o eventos imaginados que no están presentes ni son desencadenados por situaciones presentes, y que incluso podrían ser inexistentes (como un centauro). Entre este segundo tipo se incluyen los recuerdos o los mapas mentales.



Representaciones suscitadas y desvinculadas

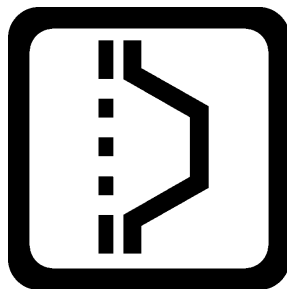
- El conjunto de las representaciones desvinculadas constituye una especie de “**entorno interno**” (*inner environment*) para el organismo. Sobre él se puede edificar posteriormente el **universo simbólico** y el **uso del lenguaje**.
- Gärdenfors cree –aunque califica esto de “especulación salvaje”– que las representaciones desvinculadas sólo aparecieron con el desarrollo del **neocórtex** en los mamíferos.
- En apoyo de esta idea menciona el hecho de que mientras que los mamíferos juegan, los reptiles no lo hacen. Y el **juego** es un modo de desarrollar conductas para usarlas en el futuro. Asimismo aduce que sólo los mamíferos **sueñan**.



Representaciones suscitadas y desvinculadas

- Esta distinción es muy útil, para vislumbrar lo que caracteriza a las representaciones propias de los sistemas cognitivos más sofisticados. Las representaciones desvinculadas permiten realizar simulaciones subjetivas del medio, lo cual les permite a su vez una previsión de las posibles intervenciones sobre él, evitando los riesgos de poner a prueba realmente ciertas conductas.
- El “entorno interno” constituido por estas representaciones posibilita la aparición del lenguaje, pero no es necesario disponer ya de un lenguaje para el despliegue de representaciones desvinculadas sobre el mundo.

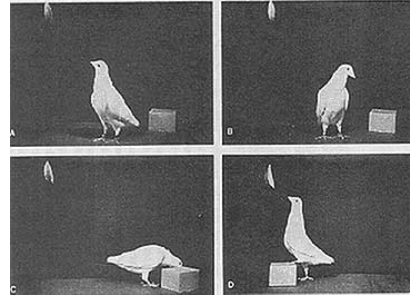
Representaciones suscitadas y desvinculadas



- Gärdénfors reconoce que las capacidades de representación espacial de las aves parecen presuponer algo parecido a un entorno interno, pero considera que no lo poseen de hecho, ya que el criterio operativo para determinar cuándo se tiene dicho entorno interno espacial es la capacidad, inexistente en las aves, de encontrar un atajo en un camino.

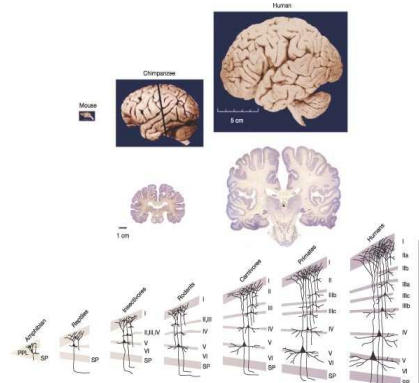
Representaciones suscitadas y desvinculadas

- Sin embargo, este criterio puede resultar demasiado exigente. La capacidad de *Nucifraga columbiana* para **localizar el punto medio** entre dos señales distantes es una evidencia en favor de la existencia de **mapas mentales** en las aves y, por tanto, de algún tipo de representación desvinculada. Por otro lado, no parece que pueda descartarse, al menos si tomamos en cuenta el caso del **indicador de la miel africano**, que las aves carezcan de la **capacidad para encontrar atajos**. Finalmente, algunos autores sostienen que **hay también juego en las aves** (cf. J. L. Gould y C. G. Gould 1999).
- Si esto es correcto, la posesión de neocórtex no sería una condición necesaria para tener representaciones desvinculadas.



La evolución de las capacidades cognitivas humanas

- Hay algunos **rasgos estructurales** del cerebro que parecen correlacionar bien con la inteligencia. Se trata del **número de neuronas corticales** y de la **velocidad de conducción del impulso nervioso**.
- El ser humano es el que más neuronas corticales posee: en torno a 16 mil millones; muy lejos de otros primates, como el babuino (2 mil quinientos millones) y los gorilas y orangutanes (9 mil millones).
- Algunos autores recientes, sin embargo, sostienen que el nº total de neuronas en el ser humano es el que corresponde a un primate con un cerebro de su tamaño. (Azevedo et al 2009, Lent et al 2012, Herculano-Houzel 2016).
- Su capacidad de procesamiento de información es la mayor de todos los animales dado que, a esta enorme densidad de neuronas corticales hay que añadir que la **conducción del impulso nervioso es muy veloz debido al grosor de su capa de mielina** y sobre todo que el **número de conexiones entre ellas** es mucho mayor.

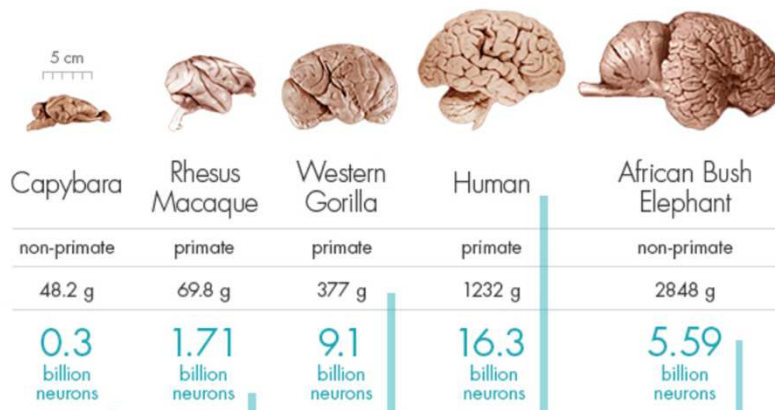


La evolución de las capacidades cognitivas humanas

- Una estimación reciente:

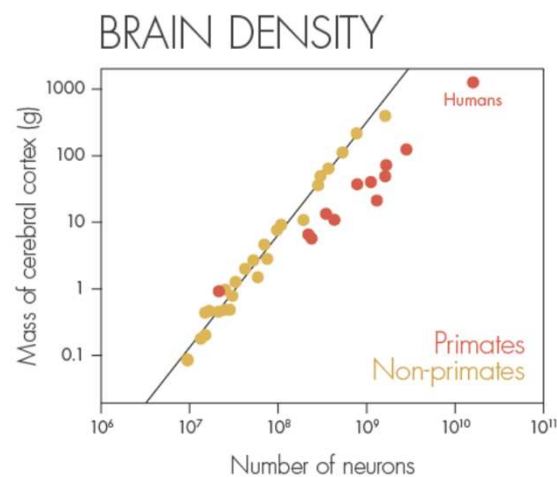
BRAIN SIZE AND NEURON COUNT

Cerebral cortex mass and neuron count for various mammals.



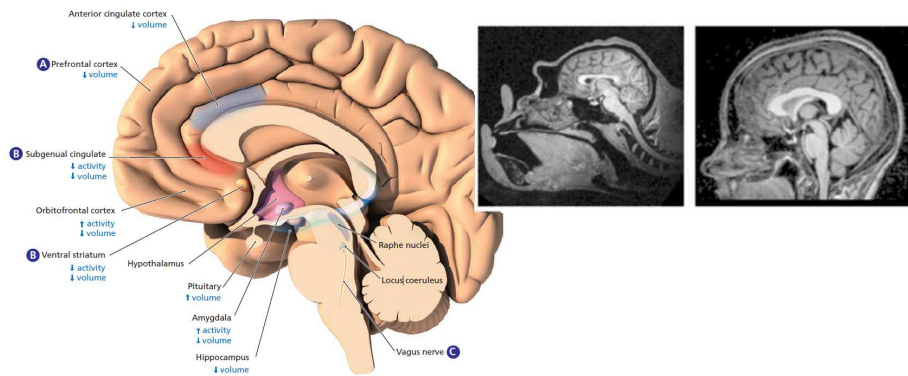
La evolución de las capacidades cognitivas humanas

- Aún así:



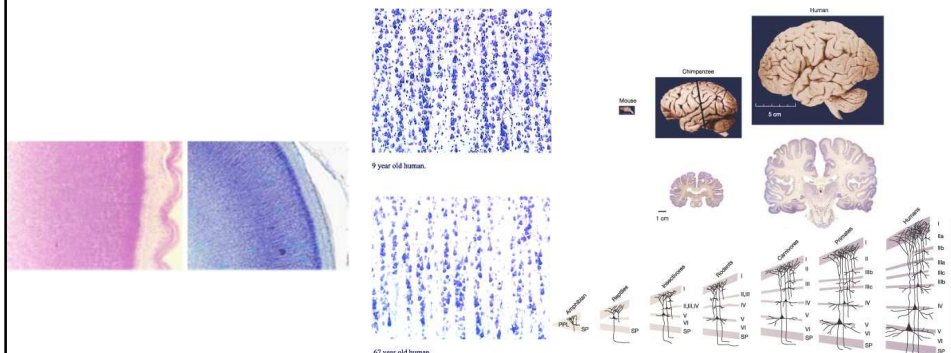
La evolución de las capacidades cognitivas humanas

- El **córtex cingulado anterior** incluye un tipo de **células fusiformes** exclusivas de los grandes homínidos, y en los seres humanos dobla en número a las de los grandes simios. Estas células parecen encargadas de conectar el CCA con otras zonas del cerebro, especialmente con el córtex prefrontal.
- El **córtex prefrontal** experimenta una reestructuración con respecto al de los grandes simios, con zonas de mayor tamaño, como el polo frontal del hemisferio derecho. (cf. Flinn et al 2005).



La evolución de las capacidades cognitivas humanas

- Otra característica peculiar de los seres humanos que ha sido detectada es la diferente estructura de las **minicolumnas del planum temporal** (una zona del área de Wernicke, que es una de las más importantes en el procesamiento y comprensión del lenguaje).
- Los análisis revelan una asimetría propia de los seres humanos en dos aspectos: en el lado izquierdo las columnas son más anchas y hay más espacio en el neuropilo (espacio comprendido entre cuerpos celulares en la sustancia gris).



La evolución de las capacidades cognitivas humanas

- Otro ejemplo:
- La mayor diferencia entre el cerebro humano y de otros primates desde un punto de vista genético no está tanto en el número de genes diferentes que se expresan en el cerebro cuanto en el **incremento de la expresión génica** (Cáceres et al. 2003).
- Entre el 2% y el 4% de los genes que se expresan en el córtex cerebral, tienen una expresión mayor en el ser humano que en el chimpancé. (Preuss et al. 2004). Aunque hay diferencias mayores en otros tejidos.

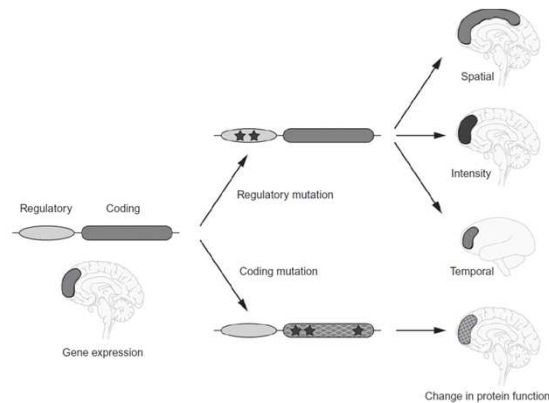
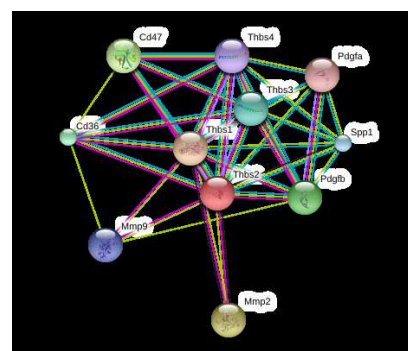


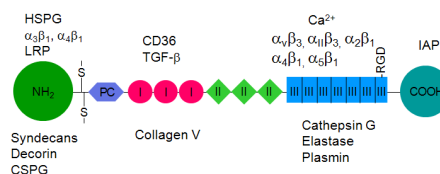
Fig. 2. Schematic demonstrating the various effects of regulatory and coding mutations on genes.

La evolución de las capacidades cognitivas humanas

- La expresión de los genes THBS2 y THBS4 (de la trombospodina-2 y 4) en el córtex frontal se ha incrementado a lo largo de la evolución y es mayor en humanos que en otros primates. **Las trombospodinas son proteínas que favorecen la formación de conexiones sinápticas** entre las neuronas, incrementando la plasticidad sináptica. (Cáceres et al. 2007).
- Hace entre 3.2-2.5m de años, un gen denominado SRGAP2 se duplicó tres veces. Al tener varias copias, dicho gen pudo evolucionar libremente en nuestros ancestros y una de las copias resultó más eficiente que el original. Dicho gen está relacionado con la capacidad de las neuronas para establecer más conexiones entre ellas.

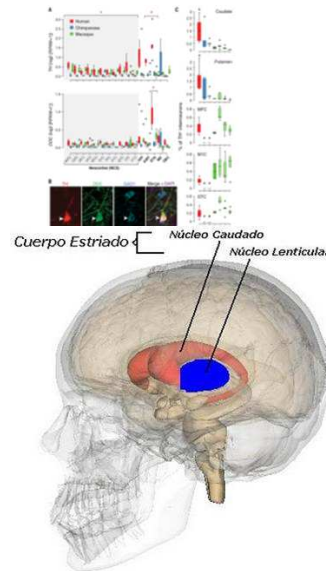


THROMBOSPONDIN



La evolución de las capacidades cognitivas humanas

- Un estudio reciente comparando la expresión génica en el cerebro de humanos, chimpancés y macacos ha mostrado que hay una gran similitud molecular entre ellos y que **la actividad de los genes en la corteza prefrontal es muy similar**.
- “El área con una actividad más característicamente humana es el **cuerpo estriado**, una zona mucho más profunda relacionada con el movimiento y la coordinación corporal. “El cuerpo estriado está relacionado con el movimiento y la bipedación.”
- El cerebro humano “se diferencia sobre todo por la expresión superior de dos genes relacionados con la **producción de dopamina** [que es crucial para la memoria, el aprendizaje y el razonamiento].”
- “También aparecen divergencias en el cerebelo —una de las zonas más primitivas del cerebro— en la expresión del gen ZP2, otra sorpresa, pues está relacionado con las probabilidades de que los espermatozoides fecunden el óvulo. Dentro de la corteza prefrontal humana, está más activo el gen MET, relacionado con el autismo.”
- “Por ahora, los autores del estudio no tienen ni idea de qué significan estas diferencias.”
- Domínguez, *El País*, 23/11/17
- Sousa et al. *Science*, 24/11/17



La evolución de las capacidades cognitivas humanas

- Otras diferencias:
- También es exclusivo de los seres humanos el gen ADCYAP1, que codifica al polipéptido activador de la adenilato ciclasa 1. Este polipéptido funciona como neurotransmisor y neuromodulador y tiene una función destacada en la neurogénesis.
- Un número importante de genes relacionados con **los receptores olfativos** han sido desactivados.
- Hay un gran número de sustituciones en la **secuencia de aminoácidos a la que dan lugar dos genes relacionados con el control del tamaño del cerebro**.
- En el cerebro humano se da también un **metabolismo más alto de la glucosa**, lo que implica un mayor nivel de actividad neuronal en el córtex cerebral del ser humano.
- Diferencias con el chimpancé en los **patrones de metilación del ADN mucho mayores en el cerebro** que en otros tejidos, como el hígado o los linfocitos (Enard et al. 2004)

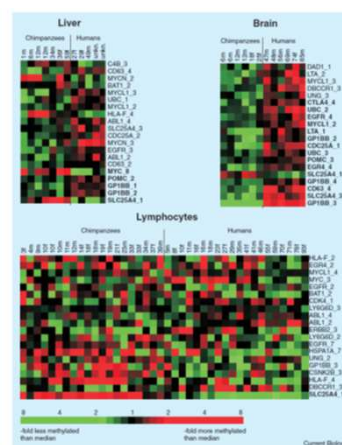


Figure 1. Methylation patterns of humans and chimpanzees in brain, liver and lymphocyte samples.

La evolución de las capacidades cognitivas humanas

- En el cerebro humano se da también un **metabolismo más alto de la glucosa**, lo que implica un mayor nivel de actividad neuronal en el córtex cerebral del ser humano.
- El gen del transporte cerebral de la glucosa es 3,2 veces más activo en el cerebro humano que en el cerebro del chimpancé, mientras que el gen del transporte de la glucosa muscular es 1,6 veces más activo en los músculos de los chimpancés que en los de los humanos. Sin embargo los dos genes se comportaron de forma semejante en el hígado de ambas especies.

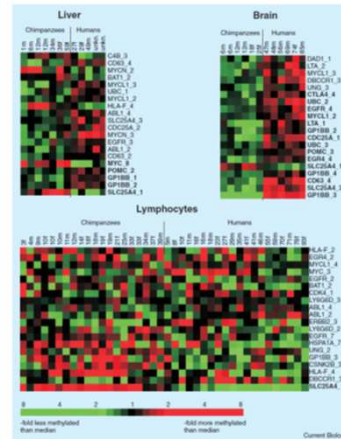


Figure 1. Methylation patterns of humans and chimpanzees in brain, liver and lymphocyte samples.

La evolución de las capacidades cognitivas humanas

- Tras la separación evolutiva del linaje humano y el del chimpancé hace unos siete millones de años, dos genes encargados de la síntesis de proteínas para el transporte de la glucosa, los genes SLC2A1 y SLC2A4, experimentaron mutaciones importantes.
- En los seres humanos, pero no en los chimpancés, las secuencias reguladoras de los genes para el transporte de la glucosa en músculo y en el cerebro habían acumulado más mutaciones de las que se esperaría por mero azar, lo que indica que estas regiones han experimentado una evolución acelerada.
- En otras palabras, hubo una fuerte presión evolutiva para modificar las regiones reguladoras humanas de una manera que extrajo energía del músculo y la canalizó hacia el cerebro. Los genes han corroborado la hipótesis del tejido caro de una manera fósiles nunca podrían. (cf. Jabr 2015).

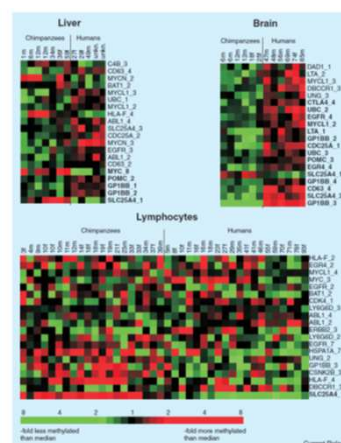


Figure 1. Methylation patterns of humans and chimpanzees in brain, liver and lymphocyte samples.